



Munich Personal RePEc Archive

**Negocjacje pomiędzy kopalnią węgla
brunatnego a elektrownią jako
kooperacyjna, dwuetapowa gra
dwuosobowa o sumie niezerowej**

Jurdziak, Leszek

20 February 2006

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/478/>

MPRA Paper No. 478, posted 17 Oct 2006 UTC

dr inż. Leszek Jurdziak
Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej

Negocjacje pomiędzy kopalnią węgla brunatnego a elektrownią jako kooperacyjna, dwuetapowa gra dwuosobowa o sumie niezerowej

Wprowadzenie

Postępująca liberalizacja rynku energetycznego stwarza nowe warunki działania dla kopalń i elektrowni. Jednym z tego przejawów jest swoboda w kształtowaniu cen węgla pomiędzy kopalnią a elektrownią, która stała się faktem od początku 2003 roku. Decyzja o uwolnieniu cen energii może wywrzeć daleko idące skutki – dla samych kopalń, dla elektrowni, a także – w dalszej kolejności – dla odbiorców energii elektrycznej (Taradejna, 2002). Warto więc zbadać jak na zachowanie się tych podmiotów może wpływać zmiana warunków działania.

Kopalnia węgla brunatnego wraz z elektrownią odbierającą od niej węgiel tworzą układ wzajemnie współzależnych podmiotów gospodarczych nazywanych *bilateralnym monopolem*¹ (monopolem dwustronnym). W literaturze opisano zarówno klasyczne rozwiązanie dla tego układu (Jurdziak, 2004b) jak i rozwiązanie zmodyfikowane wykorzystujące metody optymalizacji kopalń odkrywkowych (Jurdziak, 2004d).

W rozwiązaniu klasycznym przyjmuje się, że cena produktu pośredniego (węgla) nie ma wpływu na rozwiązanie, które jest zdeterminowane jeśli chodzi o wielkość produkcji. Można bowiem jednoznacznie wyznaczyć optymalną ilość produktu maksymalizującą łączne zyski układu w danych warunkach ekonomicznych (przy danych kosztach obu stron i popycie na dobro finalne). W rozwiązaniu klasycznym niezeterminowana pozostaje jednak cena produktu pośredniego, która może przyjąć dowolną wartość z zakresu wyznaczonego progami rentowności obu stron. Określenie tej ceny, np. w drodze negocjacji, jednoznacznie decyduje o podziale łącznych zysków odzwierciedlając siłę przetargową każdej ze stron.

Rozwiązanie zmodyfikowane okazało się zdeterminowane zarówno co do ilości jak i ceny węgla (produktu pośredniego), jeśli obu stronom zależy na maksymalizacji łącznego zysku w *dlugim okresie*². Do wyznaczenia rozwiązania optymalnego wykorzystano metodę optymalizacji (parametryzacji) kopalń odkrywkowych pozwalającą wygenerować szereg zagnieżdżonych wyrobisk docelowych (faz), które są optymalne dla poszczególnych poziomów cen węgla. Ich znajomość oraz wiedza jak wraz ze zmianą kształtu i wielkości wyrobiska zmieniają się uśrednione parametry jakościowe węgla (Jurdziak & Kawalec, 2004)) pozwala pośrednio uzależnić łączny zysk i koszty kopalni i elektrowni od ceny węgla. Znalezienie optymalnej ceny maksymalizującej wynik finansowy układu determinuje więc również wielkość i kształt wyrobiska docelowego (fazę), a zatem również ilość i jakość węgla w nim zawartego (Jurdziak, 2004d). Może więc posłużyć do optymalnego wyznaczania zasobów przemysłowych węgla brunatnego w przestrzeni złoża nie tylko w oparciu o parametry ekonomiczne związane z jego wydobywaniem (Uberman & Mazurek, 1997), lecz również z produkcją i sprzedażą energii elektrycznej na jego bazie.

Obecnie zagadnienie wyboru optymalnego wyrobiska zostanie przedstawione z nieco innego punktu widzenia. Na negocjacje pomiędzy kopalnią a elektrownią można bowiem popatrzeć jak na grę dwuosobową w której obie strony szukają strategii maksymalizującej ich użyteczność. Teoria gier szczególnie dobrze nadaje się do logicznej analizy sytuacji konfliktu i kooperacji (Straffin, 2004). W przypadku bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni dokładnie z taką sytuacją mamy bowiem do czynienia. Możliwość poprawienia sytuacji indywidualnej poprzez wynegocjowanie korzystniejszej dla siebie ceny węgla stwarza konflikt przeciwstawnych interesów, jednak realna szansa na maksymalizację łącznych zysków dzięki zastosowaniu metod optymalizacji powinna skłaniać obie

¹ *Bilateralny monopol* (czasami nazywany również monopolem dwustronnym) jest rynkiem, na którym pojedynczy sprzedawca (monopol) styka się z pojedynczym kupującym (monopsomem) (Bannock et al., 1987).

² *Długi okres* to okres w którym wszystkie czynniki produkcji są zmienne tzn. można również swobodnie dobrać wielkość zakładu do przyszłych potrzeb.

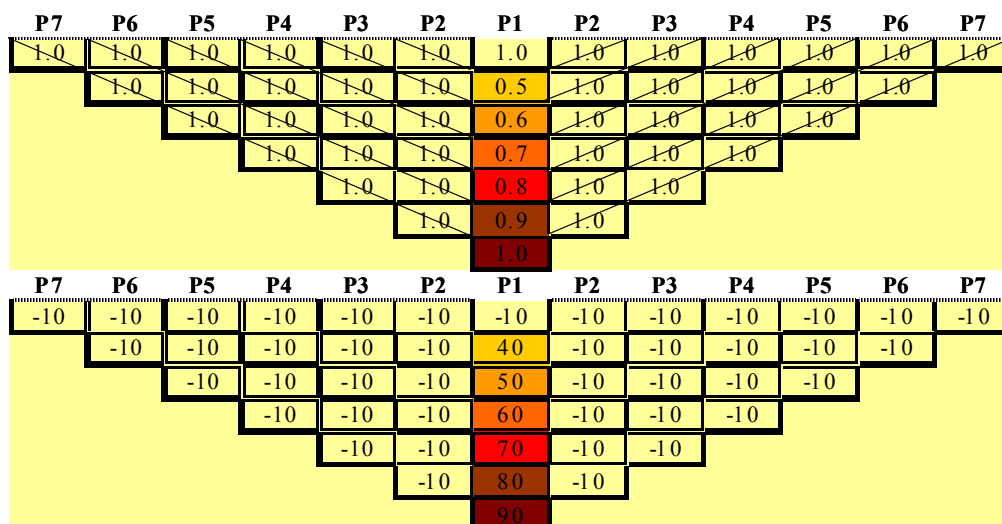
strony do kooperacji. Z racji tego, co napisano wcześniej o możliwości maksymalizacji łącznego zysku interesy kopalni i elektrowni nie są więc do końca przeciwstawne. Można więc do analizy ich sytuacji wykorzystać metody i wyniki teorii dwuosobowych gier kooperacyjnych o sumie niezerowej.

Nim to jednak nastąpi na wstępie warto zbudować prosty model złoża z niewielką ilością wyrobisk by łatwo można było na nim przedstawić metodologię maksymalizacji zysku bilateralnego monopolu oraz wykorzystać wyniki optymalizacji do przedstawienia konfliktu i kooperacji w języku teorii gier.

Model bilateralnego monopolu (BM³)

Sposób funkcjonowania BM kopalni i elektrowni oraz metodologia znajdowania optymalnego rozwiązania zostaną zademonstrowane na prostym przykładzie pozwalającym zrozumieć nowe podejście. Na dwuwymiarowym modelu złoża (rys.1) przedstawiona zostanie idea parametryzacji. Dla uproszczenia złożo będzie zalegać pionowo i nie będzie przypominało poziomych pokładów węgla, by ograniczyć liczbę możliwych wariantów zagnieżdżonych wyrobisk docelowych.

Przyjmijmy, że koszt zdjęcia bloku nadkładu lub bloku węgla wynosi 10 jednostek pieniężnych (J.p.⁴) i jest stały niezależnie od wielkości kopalni, a poszczególne bloki węgla mają zmienną wartość z uwagi na zmienną jakość. Głębiej zalegający węgiel jest lepszej jakości i ma większą wartość dla elektrowni (wskaźnik jakości rosnący od 0.5 do 1.0). Na rysunku 1 przedstawiono wartość netto bloków węgla (po odjęciu kosztów wydobywania) dla ceny bazowej 100 J.p./blok (nadkładu lub węgla).



Rys. 1 Model złoża węgla: jakościowy (u góry), wartościowy (u dołu), przy cenie bazowej węgla 100 J.p./blok i kosztach wydobywania 10 J.p./blok (nadkładu lub węgla). Zaznaczono przyjęty kąt nachylenia skarp.

Przyjęto, że realna cena węgla płacona przez elektrownię kopalni jest iloczynem *ceny bazowej*⁵ i *wskaźnika jakości*, a wskaźnik jakości odzwierciedla zróżnicowaną wartość węgla dla elektrowni w zależności od jego parametrów jakościowych. Przyjęto, że węgiel o jakości 1.0 (bazowy) ma dla elektrowni dwa razy większą wartość netto (użyteczność) niż węgiel o wskaźniku jakości 0.5. Użyteczność jednostki masy węgla dla elektrowni jest, więc *użytecznością kardynalną*⁶. Można ją mierzyć jako wartość energii elektrycznej uzyskanej z jej spalania pomniejszoną o koszty związane z wytworzeniem energii w tym koszty „ekologiczne” usunięcia i utylizacji składników balastu (siarki i popiołu).

³ W dalszym tekście skrót **BM** oznaczał będzie **bilateralny monopol**.

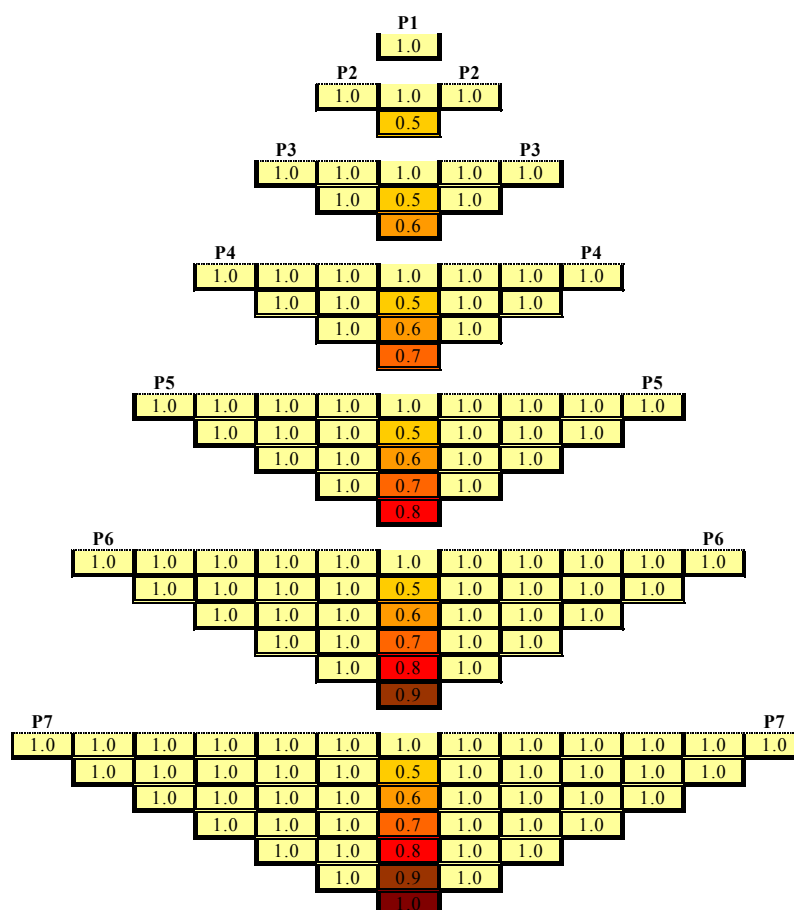
⁴ J.p. - jednostka pieniężna pisana dużą literą oznacza wielokrotność podstawowej jednostki pieniężnej j.p., czytelnikowi pozostawiamy do swobodnego przyjęcia, czy jest to 1milion j.p., czy jakaś inna wielokrotność.

⁵ *Cena bazowa węgla* – cena węgla standardowego – optymalnego dla danej elektrowni.

⁶ *Użyteczność kardynalna* – liczbowo wyrażone preferencje mierzone na skali interwałowej, pozwalającej nie tylko interpretować uporządkowanie, ale także proporcje pomiędzy różnicami różnych wartości (Straffin, 2004).

Wpływ poszczególnych parametrów jakościowych węgla na poziom wskaźnika jakości wcale nie musi być liniowy, jak jest to przyjęte w obecnie stosowanych formułach cenowych (Grudziński, 1997). Przykładowo w pracy (Roumpos, 2004) przyjęto, że wzrost wartości opałowej nie przyczynia się liniowo do wzrostu opłacalności eksploatacji węgla, lecz asymptotycznie zmierza do stałej wartości. Oznacza to, że po przekroczeniu pewnej granicznej wartości opałowej użyteczność (wartość) węgla nie wzrasta, lecz jest stała. Użyteczność węgla jest indywidualną cechą charakterystyczną dla poszczególnych kotłów w elektrowni i instalacji generujących prąd i ma związek z ich dopasowaniem do węgla o określonych, optymalnych parametrach (zapewniających najwyższą efektywność spalania i sprawność) (Olkuski, 2004). Określenie wpływu jakości węgla na efektywność przemiany ciepła zawartego w węglu na energię elektryczną oraz ilość odpadów i zanieczyszczeń jest więc istotne dla właściwego wyznaczenia użyteczności netto węgla i różnicowania cen węgla. Powinno też stanowić podstawę do sporządzenia prawidłowych formuł cenowych. Właściwe ustawienie formuł cenowych jest niezbędne by wyniki optymalizacji i parametryzacji oddawały właściwy sens ekonomiczny wartości węgla dla elektrowni – jego użyteczność.

W przedstawionym modelu złoża węgla można wyróżnić siedem zagnieżdżonych wyrobisk (od P1 do P7) o nachyleniu skarp wyrażony stosunkiem bloków 1:1 (rys.1), przy czym tylko sześć z nich zawiera węgiel (od P2 do P7) (rys.2). Wyrobisko docelowe P7 jest **wyrobiskiem maksymalnym** tzn. zawierającym całą ilość węgla nadającego się wykorzystania przez elektrownię.



Rys.2 Zagnieżdżone wyrobiska docelowe od P1 do P7 (węglowe powyżej P2)

W przypadku analizy niedyskontowanych przepływów pieniężnych generowanych z eksploatacji i sprzedaży węgla do elektrowni nie ma znaczenia kolejność wydobywania poszczególnych bloków, gdyż analizę prowadzimy tak jakby wszystkie bloki wydobyte zostały od razu. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie by w prezentowanym podejściu posługiwać się wartościami zdyskontowanymi tych przepływów (zarówno z eksploatacji jak i produkcji energii). Istnieją bowiem metody optymalizacji pozwalające na maksymalizację NPV różnych harmonogramów rozwoju wyrobiska, czy

maksymalizujące wykorzystanie złoża poprzez zastosowanie mieszania i składów pośrednich. (np. program NPVSchedulerr, czy RMSchedulerr). Uzyskane dzięki nim wartości mogą zastąpić niedyskontowane zyski kopalni i elektrowni wykorzystywane poniżej.

Dla każdego wyrobiska docelowego można wyznaczyć jego wartość netto - umowny zysk kopalni, pomijane są inne koszty nie związane z eksploatacją (Jurdziak, 2000b), przy różnych poziomach cen bazowych węgla (w zakresie 50-170 J.p./blok). Po przeprowadzeniu obliczeń wyznaczono 6 najniższych poziomów cen - **cen granicznych**⁷, przy których kolejne wyrobiska osiągają maksymalną wartość netto (tab.1). Dla danej ceny (i cen wyższych do następnego poziomu) wyrobisko to jest optymalne, gdyż wszystkie pozostałe mają wtedy niższą wartość. Graniczne ceny można również wyznaczyć w inny sposób. Wystarczy bowiem sprawdzić dla jakich cen bazowych węgla wyrobiska krańcowe (MP2-MP3, rys.3) osiągną wartości dodatnie. Oznaczać to bowiem będzie, że dla tych cen opłacać się będzie zwiększyć dane wyrobisko o ten przyrost, gdyż łączna jego wartość wraz z wartością wyrobiska wyjściowego będzie większa od samej wartości wyrobiska wyjściowego.

Tabela 1

| Nr ^a | Ilość Węgla | Ilość nadkładu | Stosunek NdoW | Cena graniczna węgla ^b | Uśredniona jakość | Zysk kopalni ^c | Zysk elektrowni ^d | Kod punktu ^e | Łączny zysk BM ^f |
|-----------------|----------------------|----------------|---------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Lp | [J.m. ^g] | [J.m.] | | [J.p./blok] | | [J.p.] | [J.p.] | | [J.p.] |
| 1 | 0 | 1 | - | - | - | -10 | - | - | -10 |
| 2 | 1 | 3 | 3.00 | 80.00 | 0.50 | 0.00 | 22.05 | A | 22.05 |
| 3 | 2 | 7 | 3.50 | 83.33 | 0.55 | 1.69 | 44.83 | B | 46.52 |
| 4 | 3 | 13 | 4.33 | 100.00 | 0.60 | 20.09 | 43.30 | C | 63.39 |
| 5 | 4 | 21 | 5.25 | 112.50 | 0.65 | 42.63 | 30.05 | D | 72.68 |
| 6 | 5 | 31 | 6.20 | 122.22 | 0.70 | 67.88 | 6.50 | E | 74.37 |
| 7 | 6 | 43 | 7.17 | 130.00 | 0.75 | 95.23 | -26.75 | F | 68.48 |

^a – kolejne numery zagnieżdżonych wyrobisk od P1 do P7,

^b – najniższa cena węgla, przy której dane wyrobisko ma maksymalną wartość wśród innych (por.⁷),

^c – wartość netto wyrobiska, suma niedyskontowanych przepływów z eksploatacji danego wyrobiska:

$$\Pi_k = p_w q_w I_{Q_w} - k_b (q_w + q_n) \quad (1)$$

gdzie:

Π_k – zysk kopalni, [J.p.],

p_w – cena węgla bazowego (standardowego) – optymalnego dla danej elektrowni, [J.p./blok],

q_w – ilość węgla, [blok],

I_{Q_w} – wskaźnik jakości uśrednionego węgla, $q_w I_{Q_w}$ to ekwiwalentna ilość węgla bazowego,

k_b – koszt wydobywania bloku nadkładu lub węgla, [J.p./blok],

q_n – ilość nadkładu, [blok].

^d – zysk elektrowni ze sprzedaży prądu uzyskanego ze spalania węgla zawartego w danym wyrobisku,

$$\Pi_e = (p_e c_1 - p_w - c_2) q_w I_{Q_w} \quad (2)$$

gdzie:

Π_e – zysk elektrowni, [J.p.],

p_e – cena energii elektrycznej, [j.p./j.e.],

c_1 – stała – ilość energii uzyskana z 1 bloku węgla bazowego (standardowego), [J.e./blok]

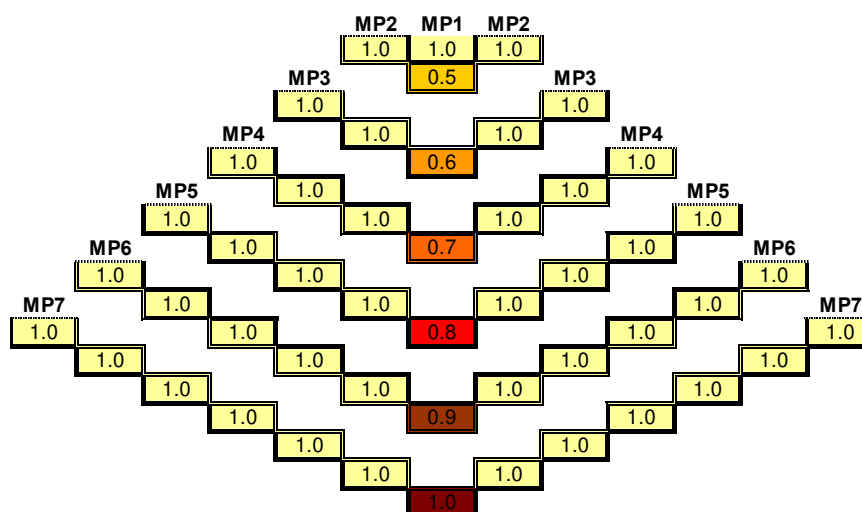
c_2 – stała - koszty własne elektrowni przerobu 1 bloku węgla bazowego, [J.p./blok]

^e – oznaczenie punktu wyznaczonego parą współrzędnych: zysk kopalni i zysk elektrowni, dla danej ceny granicznej (rys.6),

^f – suma zysków kopalni i elektrowni.

^g – J.m. – jednostka masy stanowiąca wielokrotność podstawowej jednostki j.m, J.p. – jednostka pieniężna.

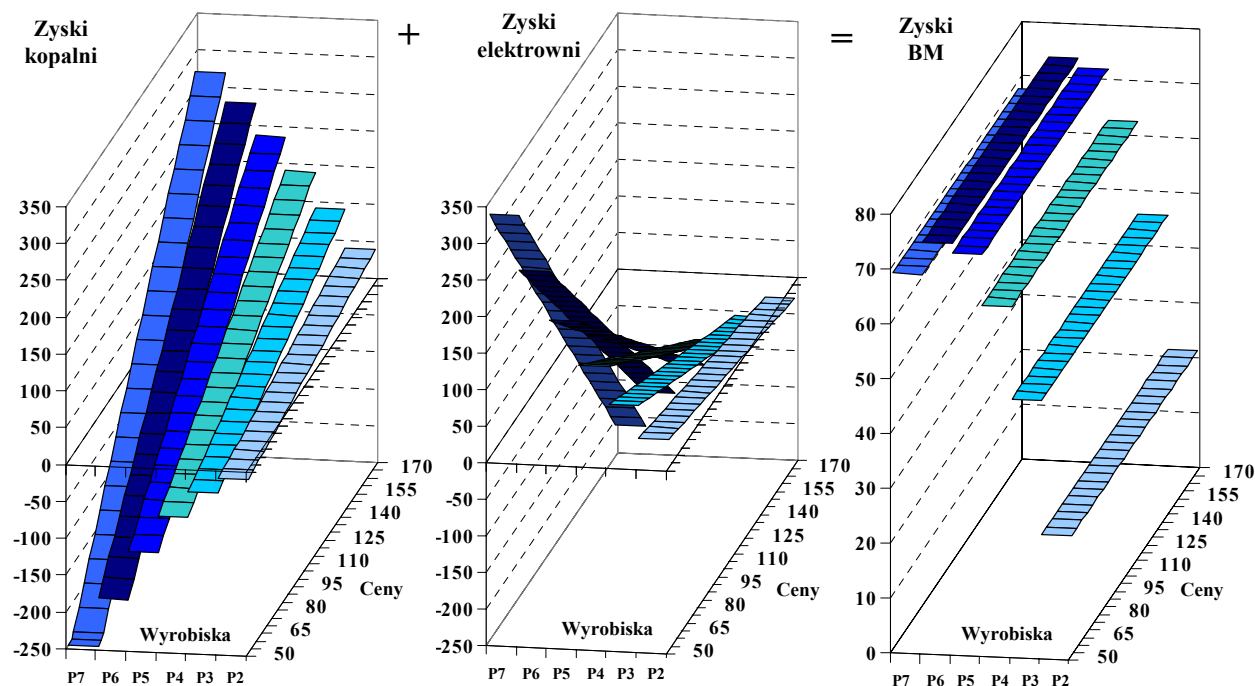
⁷ **Cenę graniczną** stanowi minimalna cena węgla, przy której wartość netto danego wyrobiska (zysk kopalni) osiąga wartość maksymalną – wyższą od wartości pozostałych wyrobisk przy tej cenie.



Rys.3 Krańcowe wyrobiska docelowe od MP2 do MP7

Przykładowo wyrobisko krańcowe MP3 składa się z jednego bloku węgla o jakości 0.6 oraz 4 bloków nadkładu. Łączny koszt wydobywania wszystkich bloków tego wyrobiska krańcowego wyniesie więc 50 J.p.. Wystarczy więc sprawdzić dla jakiej ceny bazowej bloku węgla jego wartość (iloczyn ceny bazowej i wskaźnika jakości 0.6) przekroczy 50 J.p. Łatwo sprawdzić, że cena ta wynosi 83.3(3) J.p. ($= 50 \text{ J.p.} / 0.6$).

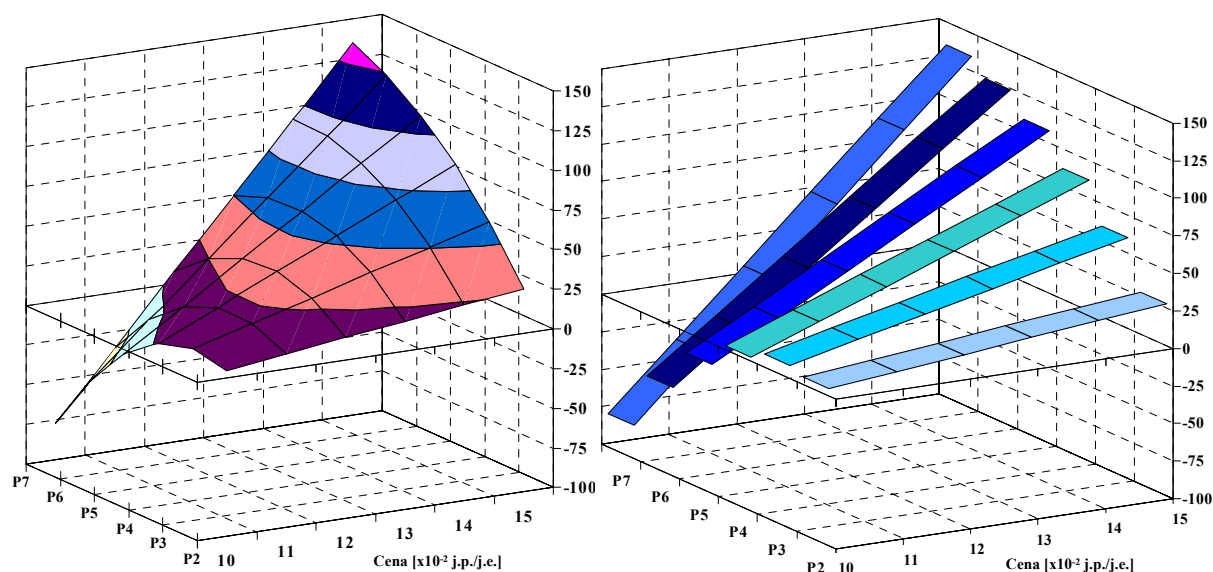
Oprócz wartości wyrobisk (1) obliczono również zyski elektrowni z przetworzenia węgla zawartego w tych wyrobiskach (2). Przyjęto przy tym kilka założeń, co do ceny energii elektrycznej (stała cena na poziomie 0.13 j.p./j.e.), efektywności przekształcania wartości opałowej na energię elektryczną (proporcjonalnie do zmian wskaźnika jakości węgla) oraz kosztów własnych elektrowni (na poziomie przychodu kopalni, by zachować przybliżony 50% udział kosztów węgla w kosztach produkcji energii elektrycznej (Muras, 2002). Zyski elektrowni dla tych wyrobisk również podane są w tabeli (tab.1), podobnie jak zyski kopalni i łączne zyski BM.



Rys.4 Zyski kopalni i elektrowni oraz łączne zyski BM (niezależne od ceny węgla) w zależności od wyboru wyrobiska (P2-P7) i ceny bazowej węgla (50-170 J.p./blok), przy cenie energii 0.13 j.p./j.e.

Jak można się przekonać **optymalną ceną bazową węgla maksymalizującą łączne zyski BM** (przy cenie energii 0.13 j.p./j.e) jest 122.22 J.p./blok. Kopalni przy tej cenie opłaca się eksploatować wyrobisko P6. Łączne zyski BM dla wszystkich cen pomiędzy 122.22, a 130 J.p./blok zyski BM są stałe. Eksploatacja wyrobiska P7 jest nieopłacalna dla BM, gdyż choć zyski kopalni są większe (wynoszą bowiem aż 95.23 J.p.) to łączne zyski BM są niższe. Zyski kopalni, elektrowni i BM przedstawione są na rysunku 4. Jak można zauważyć zyski BM nie są zależne od ceny węgla. Oznacza to, że **poprawę wyniku finansowego BM należy szukać w optymalnym dopasowaniu kształtu i wielkości wyrobiska docelowego do popytu na energię elektryczną (jej ceny), a nie przeciągających się negocjacji ceny węgla brunatnego**. Cena węgla decyduje bowiem o podziale zysku pomiędzy kopalnię, a elektrownią i nie przyczynia się do poprawy wyniku BM.

Z uwagi na to, że wielkość zysku kopalni, elektrowni i BM obliczono dla konkretnego poziomu ceny energii elektrycznej warto sprawdzić jak zmiana tej ceny wpłynie na poziom zysków BM. Na rysunku 5 przedstawiono wynik finansowy BM w zależności od wyboru wyrobiska i ceny energii elektrycznej. Można zauważyć, że dla różnych cen energii różne wyrobiska maksymalizują łączne zyski BM. Ciągła aproksymacja dyskretnego rozwiązania może być zaakceptowana (choćby jedynie dla wizualizacji), gdyż oś wyrobisk możemy zastąpić ilością węgla w nich zawartego (każde następne wyrobisko zawiera 1 blok węgla więcej niż poprzednie). W ogólnym przypadku tak nie jest, a ilość węgla pomiędzy wyrobiskami nie zmienia się w sposób ciągły, lecz skokowy i to o różne wartości. Badanie zmian zysku BM od wyboru wyrobiska i ceny energii elektrycznej warto przeprowadzić by nie okazało się, że przywiązanie kopalni do konkretnego wyrobiska i jednego planu jego rozwoju przyczynia się do obniżenia wyniku finansowego BM. Taka analiza może się okazać szczególnie przydatna tam, gdzie pionowa integracja już się rozpoczęła, np. w holdingu BOT „Górnictwo i energetyka” S.A., gdyż tam z pewnością maksymalizacja łącznego zysku BM może jednoczyć działanie obu podmiotów. W przypadku oddzielnych podmiotów, gdy procesy integracyjne się jeszcze nie rozpoczęły, górę mogą brać partykularne interesy jednej lub obu stron. Właśnie analiza gry sił obu firm tworzących BM będzie przedmiotem dalszej części tego artykułu.



Rys.5 Wynik finansowy BM w zależności od ceny energii (0.1-0.15 j.p./j.e.) i wyboru wyrobiska docelowego (od P2 do P7) - ciągła aproksymacja (lewa strona) i dyskretnie rozwiązanie (prawa strona).

Negocjacje ceny węgla a teoria gier

Teoria gier zajmuje się logiczną analizą sytuacji konfliktu i kooperacji (Straffin, 2004). O **grze** w takim rozumieniu możemy mówić wszędzie tam, gdzie: można wskazać, co najmniej dwóch graczy (firma może być traktowana jako gracz i w wielu modelach tak się ją traktuje) z których każdy ma do wyboru pewną liczbę możliwych **strategii** (sposobów działania zapewniających mu maksymalizację użyteczności). **Wynik gry** jest determinowany przez kombinację strategii wybranych przez

poszczególnych graczy. Każdemu możliwemu wynikowi gry odpowiada zestaw **wypłat** dla poszczególnych graczy, których wysokość można wyrazić liczbowo.

Bilateralny monopol kopalni i elektrowni (BM) oraz wzajemne relacje pomiędzy stronami tego układu, a zwłaszcza negocjacje dostaw i cen węgla z pewnością można uznać za rodzaj gry. Obie strony rozważają różne strategie działania względem siebie (wybór ceny i wyrobiska docelowego wygenerowanego w procesie optymalizacji) chcąc maksymalizować swoje użyteczności, które można utożsamiać z wynikiem finansowym tych firm. Za wynik gry można uznać **przyjęte ustalenia** określające np. cenę i ilość węgla, które kopalnia zobowiązuje się dostarczyć elektrowni w ustalonym czasie. Jakość dostarczanego węgla jest zdeterminowana jakością węgla w wybranym do eksploatacji wyrobisku i tylko w ograniczonym stopniu może być poprawiona, a właściwie jedynie ustabilizowana poprzez optymalne sterowanie eksploatacją i wykorzystanie mieszania. Każdemu wynikowi będzie odpowiadać zestaw wypłat – **zyski** osiągnięte przez kopalnię i elektrownię przy zrealizowaniu ustalonych dostaw i wypełnieniu zobowiązań.

Interesy kopalni i elektrowni nie są do końca przeciwstawne, gdyż kooperacja może przyczynić się do zwiększenia łącznego zysku (Jurdziak, 2004d). W pracy tej przedstawiono metodologię znalezienia optymalnego wyrobiska docelowego z wykorzystaniem modelu bilateralnego monopolu, wyników optymalizacji Lerchs'a-Grossmann'a i prognozy popytu na energię elektryczną w długim okresie. Można również wskazać dostępne już metody znalezienia optymalnego harmonogramu eksploatacji w obrębie danego wyrobiska maksymalizujące wartość bieżącą netto kopalni (NPV) lub wykorzystanie złoża z zastosowaniem mieszania urobku⁸. Nie można, więc traktować negocjacji pomiędzy kopalnią a elektrownią jako **dwuosobowej gry o sumie zerowej**⁹. Współpraca polegająca na wspólnym wyborze optymalnej ceny węgla w transakcjach pomiędzy kopalnią a elektrownią, może doprowadzić do maksymalizacji łącznego zysku obu podmiotów niezależnie od tego, czy potraktowane będą jak dwie osobne firmy, holding kopalni i elektrowni, czy pionowo zintegrowany koncern energetyczny. Jeśli dzięki współpracy można poprawić wynik finansowy to mamy do czynienia z **dwuosobową grą kooperacyjną o sumie dodatniej (niezerowej)**¹⁰.

Jednym ze sposobów prezentacji gry jest tzw. **wielobok wypłat**, czyli wielobok zbudowany na bazie zbioru punktów reprezentujących wypłaty obu graczy we wszystkich dostępnych kombinacjach strategii. Punkty leżące na tym wieloboku (w jego wnętrzu lub na granicy) reprezentują dostępne **strategie czyste** (gdy w grze istnieje para strategii prowadząca do wypłat x i y będących współrzędnymi tego punktu) lub **strategie mieszane** (gdy wypłaty x i y można osiągnąć jedynie dzięki **loterii** strategii czystych – wyborowi innych strategii z odpowiednimi prawdopodobieństwami). Liczba strategii jest nieskończona (nieprzeliczalna), akceptowalna jest bowiem dowolna cena węgla z przedziału pomiędzy ceną stanowiącą próg rentowności eksploatacji (najniższą ceną, przy której opłaca się jakakolwiek eksploatacja) i ceną wyznaczającą próg rentowności elektrowni (najwyższą ceną węgla, przy której działalność elektrowni nie przynosi jeszcze straty). Choć cen węgla jest wiele, to liczba wyrobisk docelowych jest skończona. Dla przykładowego złoża jest ich 6, a dla rzeczywistych złóż może ich być nawet kilkadziesiąt. Zależy to m.in. od zakresu i skoku (dyskretyzacji) zmian cen kopaliny w procesie parametryzacji oraz sposobu jej zalegania i nieciągłych zmian jej jakości. Im wyższa jest cena kopaliny tym głębsze pokłady złoża opłaca się wydobywać, a zatem więcej wyrobisk docelowych może być wygenerowanych w procesie parametryzacji. Najmniejsza różnica pomiędzy dwoma kolejnymi wyrobiskami docelowymi to 1 blok, choć często się zdarza, że drobna zmiana ceny prowadzi do znacznej zmiany wielkości wyrobiska lub na odwrót duże zmiany ceny nie wywołują żadnych zmian. Właśnie z tego powodu (tzw. „gap problem”)

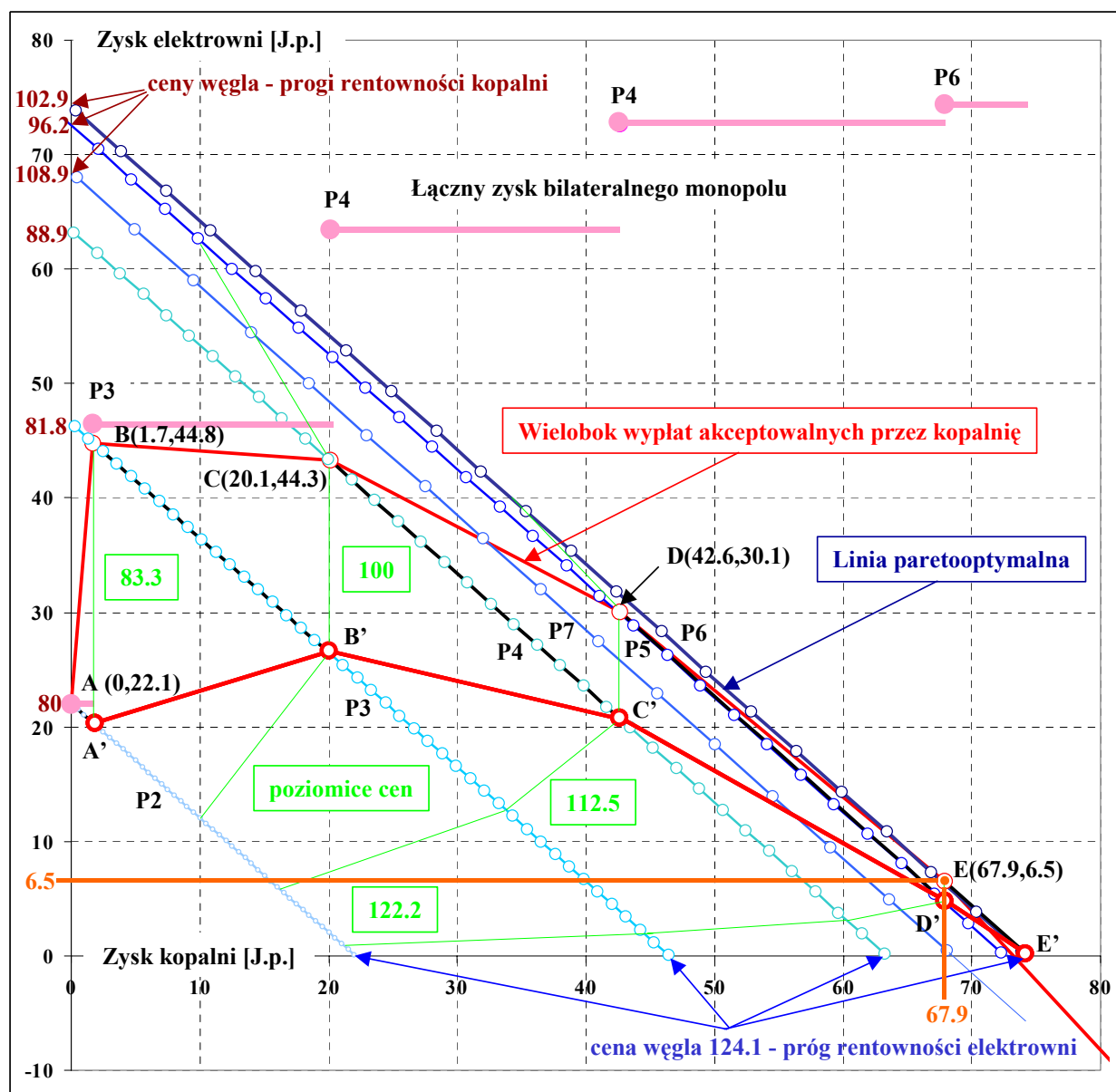
⁸ np. algorytm prof. Tołwińskiego (Underwood&Tołwiński, 1998) zastosowany w rodzinie programów firmy Earthworks Corp. (MaxiPit, NPVSchedular, RMSchedular) (Jurdziak, 1999)

⁹ **Dwuosobowa gra o sumie zerowej** – gra w której jeden z graczy wygrywa zawsze dokładnie tyle ile przegrywa drugi gracz i vice versa – wypłaty sumują się do zera. Gry takie stanowią model sytuacji czystego konfliktu (Straffin, 2004).

¹⁰ **Dwuosobowa gra kooperacyjna o sumie dodatniej** – gra w której wypłaty graczy sumują się do różnych wartości dodatnich. Kooperacja obu graczy w wyborze strategii może doprowadzić do maksymalizacji wypłat. Jeśli suma wypłat jest stała dla wszystkich kombinacji strategii to grę można sprowadzić do gry o sumie zerowej

zagnieżdżone wyrobiska docelowe nie mogą pełnić roli etapów pośrednich rozwoju kopalni (Jurdziak, 2000a).

Do skonstruowania wieloboku wypłat dla BM można wykorzystać dane zgromadzone w tab.1. Sposób wyznaczenia cen granicznych z tej tabeli wskazuje, że kopalnia opłaca się eksploatować dane wyrobisko, jeśli cena węgla mieści się w przedziale pomiędzy ceną graniczną wyznaczoną dla tego wyrobiska, a ceną graniczną dla następnego, większego. Oczywiście kopalnia może eksploatować dane wyrobisko również przy innych cenach węgla z większego przedziału pomiędzy cenami stanowiącymi próg rentowności kopalni i elektrowni, jednak wtedy łączne zyski z eksploatacji innego wyrobiska będą większe. Kopalnia zachowując się racjonalnie nie będzie więc zainteresowana eksploatacją wyrobiska, które ma dla niej mniejszą wartość. Z uwagi na to, że łączne zyski BM zależą od ceny energii oraz wyboru wyrobiska (rys. 5) i są niezależne od ceny węgla (rys.4) dla danego wyrobiska suma zysków kopalni i elektrowni będzie stała. Wszystkie punkty odpowiadające strategii eksploatacji danego wyrobiska przy różnych cenach węgla będą więc leżeć na jednej prostej o równaniu $x+y=\text{const}$, przechodzącej przez punkt wyznaczony ceną graniczną dla tego wyrobiska w obszarze dodatniej ćwiartki wykresu.



Rys.6 Wielobok wypłat akceptowanych przez kopalnię oraz linie stałego zysku BM ($x+y=\text{const}$) dla poszczególnych wyrobisk wraz z poziomice cen węgla oraz cenami węgla stanowiącymi progi rentowności dla kopalni (na osi Y) i elektrowni (na osi X - 124.1 J.p./blok)

Wielobok wypłat dla gry (negocjacja ceny węgla) to trójkąt ograniczony osiami układu współrzędnych i prostą najdalej położoną od jego początku i przechodzącą przez punkt E(67.9, 6.5). Racjonalne wydaje się bowiem, że ani kopalnia, ani elektrownia nie będą zainteresowane strategiami (wyborem ceny węgla i wyrobiska) przynoszącymi im straty. Do wieloboku należy więc początek układu współrzędnych, gdy reprezentuje strategię zerwania negocjacji – strony wycofują się z realizacji inwestycji (budowy kopalni i elektrowni) bez strat. Jeśli przygotowanie negocjacji wymagało inwestycji (wydatków na rozpoznanie złoża, uzyskanie koncesji i pozwoleń) to zamiast punktu (0,0) należy do wieloboku dodać punkt odpowiadający tym wydatkom $(-x_0, -y_0)$.

Przy niektórych cenach węgla kopalnia może eksploatować z zyskiem kilka różnych wyrobisk. Zakładając jej racjonalność można przyjąć, że odrzuci te strategie (pary: cena węgla i wyrobisko), które przyniosą jej mniejsze zyski, są to bowiem **strategie zdominowane**¹¹. Na bazie strategii dominujących – wyznaczonych w procesie parametryzacji (optymalizacji kopalń), można więc zbudować wielobok wypłat akceptowalnych przez kopalnię. Jest to obszar wyznaczony przez punkty odpowiadające wypłatom w strategiach optymalnych (punkty A, B, C, D, E z tab.1) i ich rzuty na linię leżące poniżej (punkty A', B', C', D' i E' na rys.6). Dominujące strategie czyste to suma odcinków: AA', BB', CC', DD' i EE').

Linia leżąca na wykresie najbardziej na prawo (przechodząca przez punkt E) odpowiada wyrobisku docelowemu, które przyniesie największe zyski BM, przy danej cenie energii. Z punktu widzenia maksymalizacji łącznych zysków optymalnym wyrobiskiem docelowym jest więc wyrobisko P6. Zapewnia ono łączny zysk wynoszący 74.37 J.p. Najniższa cena węgla, która zapewnia kopalni maksymalny zysk z jego eksploatacji to 122.2 J.p./blok. Przy niższej cenie np. pomiędzy 112.5, a 122.2 J.p./blok, większe zyski kopalni zapewni eksploatacja wyrobiska P5.

Niestety w grach dwuosobowych o sumie dodatniej może dochodzić do konfliktu **zasady racjonalności grupowej** (maksymalizacji łącznego zysku, **optymalności w sensie Pareto**¹²) z **zasadą racjonalności indywidualnej** (maksymalizacją własnego zysku – **kryterium dominacji**¹³). Tak jest w analizowanym przykładzie. Podział zysków przy eksploatacji wyrobiska P6 jest nierównomierny. W najlepszym przypadku (przy najniższej cenie węgla 122.2 J.p./blok) elektrownia osiągnie zysk 6.50 J.p., a kopalnia 67.9 J.p., czyli ponad dziesięciokrotnie więcej (rys.6).

Taki podział zysków może skłonić stronę otrzymującą dużo mniejszą wypłatę do wyboru rozwiązania suboptymalnego w sensie Pareto, jeśli tylko poprawi to jej sytuację. Racjonalność indywidualna i oportunizm mogą wtedy zwyciężyć. Takiego wyniku nie można jednak uznać za właściwy, gdyż jak wiadomo tylko wynik optymalny w sensie Pareto może być akceptowany jako rozwiązanie gry (Straffin, 2004). W analizowanym przykładzie jedynie eksploatacja wyrobiska P6 jest strategią paretooptymalną (granatowa linia $x+y=74.37$ na rys.6). Wyrobisko to można z zyskiem wyeksploatować przy cenach węgla mieszczących się w granicach od 102.9 J.p./blok (próg rentowności kopalni, $x=0$) do 124.1 J.p./blok (próg rentowności elektrowni, $y=0$). Z uwagi na to, że jedynie w niewielkim obszarze (122.2-124.1 J.p./blok) linia maksymalnego zysku BM pokrywa się z wielobokiem akceptowalnych wypłat to dla osiągnięcia kompromisu lepszym rozwiązaniem może się okazać rozdzielenie negocjacji cen węgla od wyboru wyrobiska i poprowadzenie ich w dwóch etapach.

W **pierwszym etapie** (ściśle kooperacyjnym) na podstawie ujawnionych przez kopalnię i elektrownię danych o własnych kosztach, wynikach przeprowadzonego procesu parametryzacji złoża węgla (zastosowaniu metod optymalizacji) i prognoz popytu na energię (przyszłego poziomu jej cen) obie strony wybrałyby wyrobisko optymalne – maksymalizujące łączne zyski BM. Do wyboru tego wyrobiska można zastosować metody analityczne opisane w (Jurdiak, 2004d) lub wyznaczyć

¹¹ **Strategie zdominowane** – strategie dające wszystkie wyniki co najwyżej identyczne, co inna strategia i przynajmniej jeden wynik gorszy (dający mniejszą wypłatę). **Strategia dominująca** przynosi zawsze wyniki nie niższe niż inne strategie.

¹² Wynik gry jest **nieoptymalny (suboptymalny lub nieefektywny) w sensie Pareto** jeśli gra ma inny wynik dający obu graczom wyższe wypłaty, lub jednemu z graczy taką samą, a drugiemu wyższą. Wynik jest **paretooptymalny** jeśli takiego innego wyniku nie ma (Straffin, 2004).

¹³ **Kryterium dominacji** – racjonalny gracz nigdy nie wybiera strategii zdominowanej.

wyrobisko graficznie sporządzając wielobok wypłat dla kopalni i elektrowni przy eksploatacji wszystkich wygenerowanych **zagnieżdżonych wyrobisk docelowych** w układzie takim jak na rys.6. W pierwszym etapie negocjacje byłyby więc dwuosobową grą o sumie niezerowej (dodatniej), której celem byłby wybór optymalnego wyrobiska.

Dopiero w **drugim etapie**, jeśli wynikający z optymalnego rozwiązania podział zysków (tu 6.5J.p. dla elektrowni i 67.9J.p. dla kopalni przy eksploatacji wyrobiska P6 z ceną węgla 122.2J.p./blok) nie jest do zaakceptowania przez którąś ze stron, obie strony mogłyby wspólnie podjąć decyzję o innym jego podziale. Podział zysków w tym etapie może nastąpić poprzez :

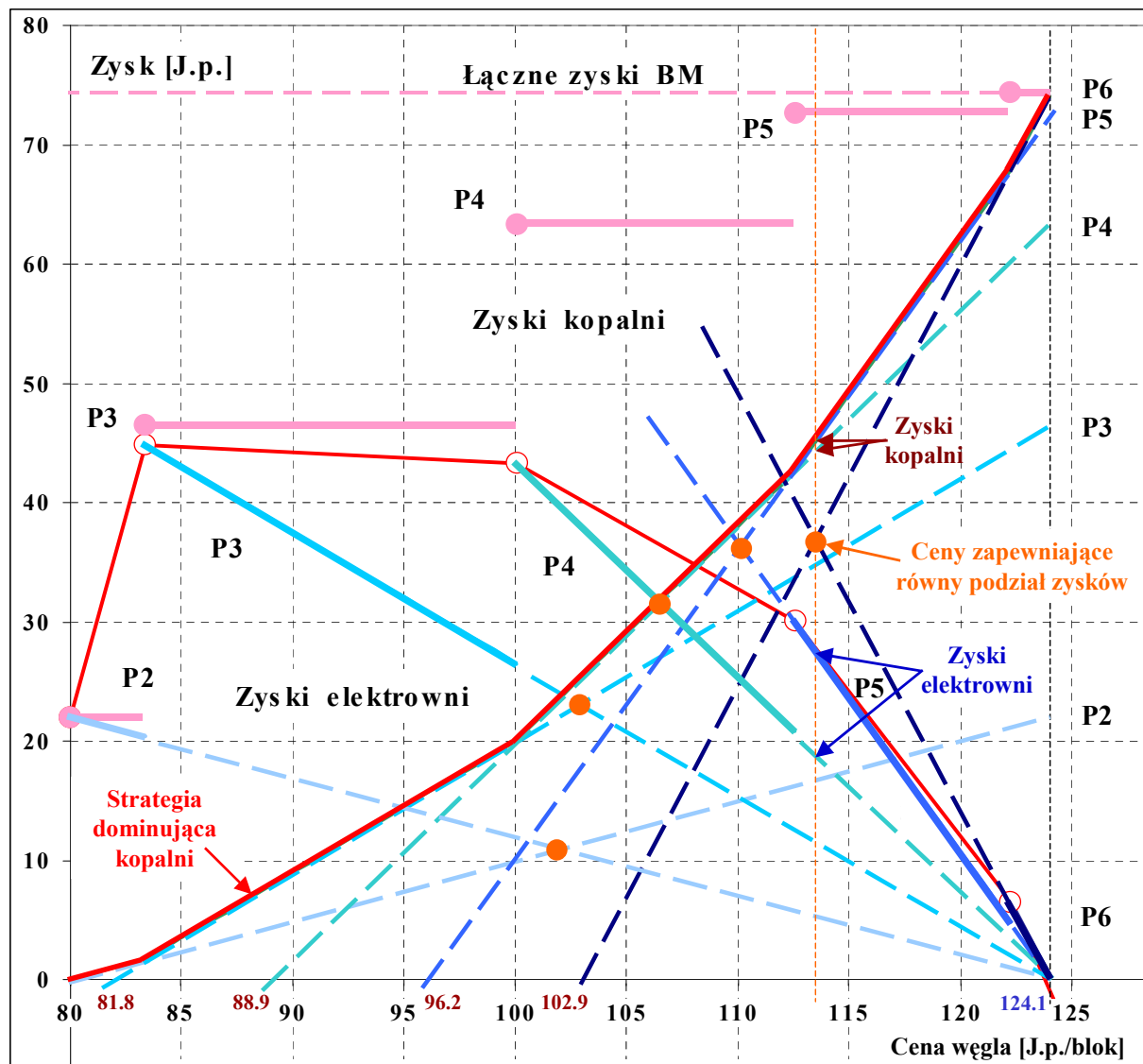
- realizację **wypłat ubocznych**, by zniwelować różnice w zyskach lub zrealizować inny, przyjęty w drodze negocjacji ich podział), albo
- przyjęcie innej **rozrachunkowej (transferowej) ceny węgla** do wzajemnych rozliczeń. W takiej sytuacji jednak zarówno wybór wyrobiska docelowego, jak i inne decyzje o zmianie jego kształtu i wielkości powinny się odbywać z wykorzystaniem optymalnej ceny węgla wyznaczonej ze zmodyfikowanego modelu bilateralnego monopolu by zachować racjonalność i efektywność ekonomiczną. Podział zysku poprzez zastosowanie cen rozrachunkowych (transferowych) innych niż wyznaczone z modelu wymaga jednak daleko idącej i ścisłej współpracy, dlatego jest raczej możliwe w holdingu lub przy pełnej pionowej integracji.

Aby uniknąć negatywnych zjawisk związanych z niekooperacyjnym zachowaniem się stron w tej fazie gry (wynikającym z całkowicie przeciwstawnych interesów) i ich oportunistycznym warto oprzeć negocjacje na racjonalnych podstawach i z góry ustalić „sprawiedliwy” podział zysków oraz wbudować go jako parametr formuł cenowych (Blair & Kasermann, 1987) by nie wracać za każdym razem do negocjacji przy każdorazowej zmianie któregoś z kluczowych czynników mających wpływ na optymalne rozwiązanie. Częste i powtarzające się negocjacje podnoszą bowiem koszty transakcyjne, a przyjęcie „niesprawiedliwego” podziału zysku grozi próbami zmiany sytuacji na innym polu. Jednym ze sposobów może być wyegzekwowanie wypłat ubocznych np. poprzez zwiększenie cen usług świadczonych drugiej stronie. Przykładem może być zwiększenie cen składowania popiołów z elektrowni w wyrobisku kopalni by zrekompensować „niski” poziom cen węgla. Znacznie groźniejsze jest jednak odejście kopalni od wcześniejszych ustaleń, co do wyboru optymalnego dla BM wyrobiska.

Pełną kontrolę działań kopalni zapewnia dopiero pełna integracja. Im stopień integracji jest mniejszy (np. w holdingu) tym możliwość pełnego wyegzekwowania ustaleń maleje. Lepiej więc i na tym etapie uzgodnić podział zysków satysfakcjonujący obie strony (uznany przez nie za „sprawiedliwy”) by uniknąć problemów w przyszłości. Nawet wtedy, gdy podział został zaakceptowany istnieje nadal groźba oportunistycznego zachowania jednej lub obu stron po zawarciu porozumienia, a zwłaszcza po zrealizowaniu niezbędnych inwestycji, które mogą np. przesądzić wybór pewnych strategii (zakup maszyn warunkujących skalę eksploatacji). Warto, więc przewidywać takie sytuacje i z góry zabezpieczyć się przed nimi w kontraktach. Ważne jest też zademonstrowanie ekonomicznych skutków takich zachowań by zawczasu zniechęcić do takiego postępowania.

Na rysunku 7 zaprezentowano zyski kopalni i elektrowni w nieco innym układzie – w funkcji ceny węgla. Strategię dominującą kopalni tworzy linia łamana złożona z fragmentów liniowych funkcji zysku dla poszczególnych wyrobisk docelowych (linia czerwona). Jest więc ona funkcją ciągłą, monotonicznie rosnącą w całym obszarze akceptowalnych cen, czyli w przedziale od najniższej ceny zapewniającej opłacalną eksploatację złoża (tu 80 J.p./blok), po maksymalną cenę akceptowalną przez elektrownię - wyznaczającą jej próg rentowności (124.1J.p./blok). Odpowiadające jej zyski elektrowni są już funkcją nieciągłą, przedziałami monotonicznie malejącą i skokowo zmieniającą się dla cen granicznych – wyznaczających zmiany wyrobiska docelowego przez kopalnię w strategii dominującej. Oznacza to, że elektrownia nie jest w stanie wyznaczyć swojej funkcji zysku bez wiedzy o tym, które wyrobiska docelowe opłaca się kopalni eksploatować przy danym poziomie cen węgla. Wybór wyrobiska (jego wielkość i kształt wyznaczony z programu optymalizacyjnego) decyduje, bowiem o ilości i jakości dostępnego węgla, a zatem o przychodach i kosztach elektrowni. Kopalnia ma więc **przewagę informacyjną** nad elektrownią – posiada wiedzę o złożu i może dla niego przeprowadzić proces parametryzacji wyznaczający serię optymalnych wyrobisk docelowych i

przedziały cen dla których opłaca się je eksploatować. Takiej wiedzy nie ma elektrownia, co znacznie pogarsza jej pozycję negocjacyjną. Istniejąca **asymetria informacji** w warunkach gospodarki rynkowej (działania kryterium dominacji – racjonalności indywidualnej) może zagrażać interesom elektrowni. Kopalnia zawsze bowiem powiększy swoją wypłatę negocjując wyższą cenę węgla, gdyż jej funkcja zysku odpowiadająca strategii dominującej jest rosnąca i to szybciej niż funkcja liniowa. Elektrownia obniżając cenę może, po przekroczeniu cen granicznych, zamiast zwiększyć zysk znacznie go obniżyć. Przykładowo obniżając cenę węgla poniżej 100 J.p. zyski elektrowni zamiast wzrosnąć mogą spaść nawet o więcej niż 15 J.p. Tendencja do pionowej integracji elektrowni i kopalni jest więc w takiej sytuacji czymś zupełnie naturalnym, a wręcz pożądanym. Likwiduje ryzyko i niepewność (oczywiście nie do końca, gdyż rozpoznanie złoża zawsze jest tylko przybliżone) oraz daje zintegrowanemu producentowi energii pełną kontrolę poczyną obu stron po zawarciu porozumienia, co do wyboru wyrobiska maksymalizującego łączne zyski BM i jego podziału.



Rys.7 Zyski kopalni i elektrowni oraz BM w funkcji ceny węgla dla poszczególnych wyrobisk. Linia ciągłą zaznaczono zyski elektrowni dla strategii dominującej kopalni (linia czerwona). Zaznaczono zyski kopalni i elektrowni przy cenie równoważącej zyski dla wyrobiska (P6 ok.114 J.p./blok) w przypadku eksploatacji wyrobisk mniejszych P5 i P4.

Wyznaczenie akceptowalnego przez obie strony („sprawiedliwego”) podziału zysku w drugim etapie negocjacji to złożony temat. Dotyka bowiem fundamentalnych spraw dla ekonomii takich jak „użyteczności”, jej pomiar i porównania. Wymaga więc znacznie szerszego i głębszego potraktowania. Nie wchodząc jednak w szczegóły różnych rozwiązań i ich uzasadnień można

przedstawić jedno z nich prowadzące do równego podziału wypracowanego zysku, czyli tzw. *strategii egalitarnej*. Wprawdzie niektórzy autorzy kwestionują w ogóle zasadność maksymalizacji sumy użyteczności, a więc i równego ich podziału, gdyż użyteczność stanowi odzwierciedlenie preferencji graczy, a te da się określić jedynie na skali porządkowej. Nie można, więc ich nie tylko porównywać pomiędzy różnymi osobami (Czy osoba X preferuje kawę bardziej niż osoba Y), lecz nawet nie możemy zmierzyć jej siły dla pojedynczej osoby (Ile razy osobnik X woli kawę niż herbatę?)

Z uwagi jednak, że zajmujemy się firmami, a nie osobami, a wypłaty mierzone są zyskiem wyrażonym w jednostkach pieniężnych można przyjąć, że skala użyteczności firm jest przedziałowa. Można też przyjąć, że użyteczność jest symetryczna i liniowo zależna od kwoty wypłat, choć te ostatnie założenia można w pewnych sytuacjach zakwestionować. Maksymalizacja łącznego zysku (sumy użyteczności) ma więc sens i ma go również strategia egalitarna. Ceny zapewniające równy podział dla poszczególnych wyrobisk można wyznaczyć na przecięciu linii zysku kopalni i elektrowni (pomarańczowe punkty na rys.7). Jak już wcześniej wspomniano w analizowanym przykładzie największe zyski zapewnia eksploatacja wyrobiska P6 przy cenie ok. 114 J.p./blok (rys.7). Widać jednak, że przy tej cenie istnieje zachęta dla kopalni by odejść od strategii egalitarnej na rzecz strategii dominującej w tym obszarze cen, czyli eksploatacji wyrobiska mniejszego P5. Zapewnia ono kopalni wyższe zyski, jednak kosztem zysku elektrowni. Co więcej w wyniku takiej polityki łączne zyski BM są mniejsze, bowiem przyrost zysku kopalni jest mniejszy niż obniżenie zysku elektrowni. Również elektrownia mogłaby dążyć do maksymalizacji swojego zysku poprzez eksploatację wyrobiska P3 przy cenie 82 J.p./blok lub P4, przy cenie węgla nieco powyżej 100 J.p./blok (gdyby posiadała wiedzę, że kopalni przy tej cenie opłaca się wybrać te wyrobiska). W obu wypadkach jej zyski byłyby większe niż przy najlepszym równym podziale (wyrobisko P6). Obie strony dokonują więc jakiś wyrzeczeń na rzecz maksymalizacji łącznego zysku. Dzięki takiej polityce zwiększa się także wydobycie węgla, a zatem okres eksploatacji złoża i istnienia elektrowni. Jest to, więc poważny argument na rzecz tej strategii przemawiający również za pionową integracją obu firm. Odejście od przyjętych ustaleń nie byłoby bowiem możliwe w pionowo zintegrowanej firmie, gdyż jej celem jest maksymalizacja łącznego zysku, a nie jednego z jej oddziałów (etapów produkcji, centrów kosztów). Eksploatacja większego wyrobiska P7, przy przyjętej do obliczeń cenie energii elektrycznej (0.13 j.p./j.e.) jest mniej opłacalna. Przy wyższych cenach energii również i to wyrobisko mogłoby zostać wybrane do eksploatacji jako optymalne (rys.5).

Przedstawiono procedurę wyboru wyrobiska docelowego może z powodzeniem posłużyć do optymalnego, przestrzennego wyznaczania zasobów przemysłowych węgla brunatnego w oparciu o kryteria ekonomiczne związane zarówno z kopalnią i elektrownią jak i rynkiem energii elektrycznej, na którym ona działa. Pozwala bowiem wyznaczyć te zasoby nie w oparciu o sztucznie wyznaczoną cenę węgla brunatnego (węgiel ten nie ma bowiem „ceny rynkowej” do której można by się odnosić), lecz w oparciu o maksymalizację łącznego zysku obu podmiotów. Powinien więc szczególnie zainteresować firmy, które rozpoczęły już proces integracji pionowej. Zdecydowanie łatwiej można go bowiem w nich wdrożyć.

Przejsie od długiego okresu do krótkiego

Przedstawiona analiza negocjacji ceny węgla pomiędzy kopalnią, a elektrownią dotyczy długiego okresu, a więc kontraktów długoterminowych – praktycznie na cały okres życia kopalni i elektrowni. W tak długim okresie (nawet kilkudziesięciu lat) wiele kluczowych parametrów przedsięwzięcia ulega zmianie. W okresie istnienia krajowych kopalń węgla brunatnego nastąpiła nawet zmiana systemu gospodarczego. Możliwość pojawienia się tak istotnych zmian, a więc w dużej mierze nieprzewidywalność przyszłości nie umniejsza jednak wcale wartości tego typu analiz.

Po pierwsze istotne zmiany muszą dotyczyć wzajemnych relacji cen energii elektrycznej i kosztów w kopalni i elektrowni, by wyniki analizy nie były adekwatne do nowej sytuacji. Jeśli np. na skutek inflacji wszystkie ceny i koszty zmieniają się w miarę proporcjonalnie to nie powinno to mieć istotnego wpływu na poprawność wyników.

Po drugie nawet, gdyby proporcje te zostały zachwiane, np. na skutek obniżenia cen energii elektrycznej po deregulacji i liberalizacji rynku energii elektrycznej, to nic nie stoi na przeszkodzie by taką analizę powtórzyć dla nowego układu cen i kosztów. W dobie komputerów i programów

optymalizacyjnych powtórzenie analizy nie powinno być kłopotliwe. Nawet wtedy, gdy nowe, optymalne wyrobisko znacznie odbiegałoby od poprzedniego i zachodziłaby konieczność istotnego poprawienia projektów, to przy wykorzystaniu techniki CAD i trójwymiarowego modelowania ich modyfikacje i tak byłyby znacznie tańsze niż realizacja suboptymalnego wariantu. W górnictwie rud metali kolorowych i szlachetnych z uwagi na dużą fluktuację cen tych metali kopalnie nawet dwukrotnie w ciągu roku przeprowadzają proces parametryzacji by zawsze eksploatować wariant optymalny.

Można sobie również postawić pytanie jak wybór wyrobiska docelowego oraz optymalnej i rozrachunkowej (transferowej) ceny węgla dla kontraktów długoterminowych przekłada się na bieżące negocjacje pomiędzy obu stronami BM. Podstawową różnicą jest to, że w negocjacjach bieżących nie dokonuje się wyboru wyrobiska (o ile warunki ekonomiczne i relacje cen do kosztów się nie zmieniły), lecz określa się ilość dostarczanego węgla i jego cenę bieżącą. Ilość węgla zaplanowana do wydobywania w danym roku może być w pewnych granicach (wynikającej z ograniczeń technologicznych) zmieniana, co może mieć wpływ na koszty w krótkim okresie. Inny charakter ma też popyt na energię elektryczną w krótkim okresie, który jest zdecydowanie bardziej sztywny i zależny od bieżącej koniunktury gospodarczej. Inny przebieg kosztów krótkookresowych i bieżącego popytu może powodować, że w niektórych przypadkach warto odejść od ustaleń długookresowych co do rocznych dostaw węgla i jego ceny by wykorzystać chwilowe wzrosty popytu na energię i zmaksymalizować łączne zyski krótkookresowe BM. Utrzymywanie się zwiększonego bieżącego popytu na energię może wpłynąć na zmianę popytu długookresowego, a to pociągnęłoby za sobą konieczność powtórzenia procesu parametryzacji i zmianę optymalnego wyrobiska i ceny węgla. Mechanizm wyznaczenia optymalnej ilości węgla i jego ceny dla krótkiego okresu również powinien wykorzystywać model BM i opracowaną metodologię włącznie z zastosowaniem teorii gier. Plany krótkoterminowe, które również można optymalizować (np. pod kątem homogenizacji węgla (Kawalec, 2004)) powinny być wpisane w plany długoterminowe. Z pewnością warto poświęcić temu zagadnieniu więcej uwagi.

Konkluzje

Wykorzystanie modelu bilateralnego monopolu (BM) oraz metod optymalizacji kopalń odkrywkowych pozwala potraktować negocjacje ceny węgla brunatnego pomiędzy kopalnią a elektrownią w kontraktach długoterminowych jako kooperacyjną, dwuetapową grę dwuosobową o sumie niezerowej. Z uwagi na to, że poprawy wyniku finansowego tego układu należy szukać w optymalnym dopasowaniu kształtu i wielkości wyrobiska docelowego do popytu na energię elektryczną (jej ceny), a nie przeciągających się negocjacjach ceny węgla gra powinna toczyć się w dwóch etapach. W pierwszym obie strony powinny wybrać optymalne wyrobisko maksymalizujące łączne zyski tego układu, a dopiero w drugim, po uzgodnieniu akceptowanego podziału zysku, zrealizować go poprzez przyjęcie odpowiedniej ceny transferowej węgla lub zastosowanie wypłat ubocznych.

Analiza tej gry prowadzi do wniosku, że jedynie integracja pionowa obu firm może zapewnić osiągnięcie optymalnego rozwiązania maksymalizującego łączny zysk BM. Istnienie asymetrii informacji - przewaga kopalni wynikająca ze znajomości złoża, może bowiem przy niekooperacyjnym podejściu obu stron polegającym na skoncentrowaniu się wyłącznie na negocjowaniu ceny węgla, prowadzić do suboptymalnych rozwiązań – nieefektywnych w sensie Pareto. Kopalnia dla każdego poziomu ceny może bowiem wybrać strategię dominującą (maksymalizującą jej wypłatę) polegającą na eksploatacji wyrobiska optymalnego dla tej ceny. Zazwyczaj będzie to wyrobisko mniejsze od optymalnego dla całego układu, co obniży zyski elektrowni, skróci czas eksploatacji złoża i obniży stopień jego wykorzystania.

Przedstawiono procedurę wyboru wyrobiska docelowego maksymalizującego łączne zyski BM może z powodzeniem posłużyć do optymalnego, przestrzennego wyznaczania zasobów przemysłowych węgla brunatnego w oparciu o kryteria ekonomiczne związane zarówno z kopalnią i elektrownią jak i rynkiem energii elektrycznej, na którym ona działa.

Sprawą otwartą, wymagającą dalszych badań, pozostaje wypracowanie „sprawiedliwego” podziału zysku pomiędzy kopalnię i elektrownię, czyli rozwiązanie II etapu gry oraz przejście z

długiego do krótkiego okresu. Powinno ono umożliwić maksymalizację łącznego zysku BM w zderzeniu z krótkookresowym popytem na energię elektryczną. Można tego dokonać poprzez optymalizację harmonogramów krótkookresowych – właściwy dobór wydajności i szczegółowej kolejności wybierania złoża z uwzględnieniem mieszania (homogenizacji) w ramach planu na całe życie kopalni (Life of Mine Plan) opracowanego dla długiego okresu na bazie optymalnego wyrobiska docelowego wskazanego w I etapie gry.

Literatura

1. Bannock G., Baxter R.E., Davis E., 1987: *The Penguin Dictionary of Economics*. Penguin Books.
2. Blair, R.D., Kaserman, D.L., 1987: *A Note on Bilateral Monopoly and Formula Price Contracts*. The American Economic Review; June 77;3.
3. Grudziński Z., 1997: Koncepcja systemu cen dla węgla brunatnego, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 113 z.3..
4. Jurdziak L., 1999: *Wartość bieżąca netto w projektowaniu kopalń odkrywkowych - możliwości programu MaxiPit i NPV Scheduler*. Materiały konferencyjne "Ekonomika, Organizacja i Zarządzanie w Górnictwie '99", Ustroń-Jaszowiec.
5. Jurdziak L., 2000a: *Na czym polega ekonomiczna optymalizacja kopalń odkrywkowych*, VII Krajowy Zjazd Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław.
6. Jurdziak L., 2000b: *Zasady tworzenia przestrzennych modeli rozkładu wartości złoża i kosztów eksploatacji na potrzeby programów optymalizacyjnych*. Górnictwo Odkrywkowe Nr 5-6, Wrocław
7. Jurdziak L., 2004a: *Co należy wiedzieć projektując kopalnię? Sposób na trafne decyzje*. Gigawat Energia Nr 2.
8. Jurdziak L., 2004b: *Kopalnia odkrywkowa węgla brunatnego i elektrownia jako bilateralny monopol w klasycznym ujęciu*. Górnictwo i Geologia VII. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 106, Seria: Studia i Materiały: Nr 30, Wrocław 2004.
9. Jurdziak L., 2004c: *O potrzebie szczegółowego sterowania jakością węgla brunatnego na zliberalizowanym rynku energii – propozycja utworzenia modelu bilateralnego monopolu: kopalnia - elektrownia*, Górnictwo Odkrywkowe Nr 1
10. Jurdziak L., 2004d: *Tandem: lignite opencast mine & power plant as a bilateral monopoly*. Mine Planning and Equipment Selection Wrocław, Balkema.
11. Jurdziak L., Kawalec W., 2004: *Analiza wrażliwości wielkości wyrobiska docelowego i jego parametrów na zmianę ceny bazowej węgla brunatnego*. Górnictwo i Geologia VI., Górnictwo i Geologia VII. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 106, Seria: Studia i Materiały: Nr 30, Wrocław.
12. Kawalec W., 2004. *Short-term scheduling and blending in lignite open-pit mine with BWEs*. Mine Planning and Equipment Selection Wrocław, Balkema.
13. Kawalec W., Specylak J., 2000: *Open pit optimisation of a lignite deposit*. Mine Planning and Equipment Selection Ateny, Balkema.
14. Muras Z., 2002: *Zwolnienie z obowiązku zatwierdzania ceny węgla brunatnego*. Biuletyn URE 2.
15. Olkusiński T., 2004. *Straty energii chemicznej w procesach energetycznego wykorzystania węgla kamiennego*, Wydawnictwo IGSMiE PAN, Studia Rozprawy Monografie 124, Kraków, 2004
16. Roumpos C., Akylas N., Terezopoulos N., *A decision making model for lignite deposits exploitability*, Mine Planning and Equipment Selection, Wrocław, Balkema.
17. Straffin P.D., *Teoria gier*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, 2004
18. Taradejna R., 2002: *Ustalanie cen węgla brunatnego po uchyleniu art. 48 prawa energetycznego*. Biuletyn URE 6.
19. Uberman R., Mazurek S., 1997: *Wyznaczenie zasobów przemysłowych węgla brunatnego w oparciu o kryteria ekonomiczne*. Węgiel Brunatny 1 (18).
20. Underwood R., Tolwiński B., 1998: *A mathematical programming viewpoint for solving the ultimate pit problem*, European Journal of Operational Research, 107.

Artykuł powstał w ramach pracy nad projektem badawczym Nr 0882/T12/2002/23 "Zintegrowana metoda optymalizacji kopalni odkrywkowej z systemem transportu taśmowego"

dr inż. Leszek Jurdziak
Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej

Negocjacje pomiędzy kopalnią węgla brunatnego a elektrownią jako kooperacyjna, dwuetapowa gra dwuosobowa o sumie niezerowej

Wykorzystanie modelu bilateralnego monopolu (BM) oraz metod optymalizacji kopalń odkrywkowych pozwala potraktować negocjacje ceny węgla brunatnego pomiędzy kopalnią a elektrownią w kontraktach długoterminowych jako kooperacyjną, dwuetapową grę dwuosobową o sumie niezerowej. Z uwagi na to, że poprawy wyniku finansowego tego układu należy szukać w optymalnym dopasowaniu kształtu i wielkości wyrobiska docelowego do popytu na energię elektryczną (jej ceny), a nie przeciągających się negocjacjach ceny węgla gra powinna toczyć się w dwóch etapach. W pierwszym obie strony powinny wybrać optymalne wyrobisko maksymalizujące łączne zyski tego układu, a dopiero w drugim, po uzgodnieniu akceptowanego podziału zysku, zrealizować go poprzez przyjęcie odpowiedniej ceny transferowej węgla lub zastosowanie wypłat ubocznych. Analiza tej gry prowadzi do wniosku, że jedynie integracja pionowa obu firm może zapewnić osiągnięcie optymalnego rozwiązania maksymalizującego łączny zysk BM. Istnienie asymetrii informacji - przewaga kopalni wynikająca ze znajomości złoża, może bowiem przy niekooperacyjnym podejściu obu stron polegającym na skoncentrowaniu się wyłącznie na negocjowaniu ceny węgla, prowadzić do suboptymalnych rozwiązań – nieefektywnych w sensie Pareto. Kopalnia dla każdego poziomu ceny może bowiem wybrać strategię dominującą (maksymalizującą jej wypłatę) polegającą na eksploatacji wyrobiska optymalnego dla tej ceny. Zazwyczaj będzie to wyrobisko mniejsze od optymalnego dla całego układu, co obniży zyski elektrowni, skróci czas eksploatacji złoża i obniży stopień jego wykorzystania. Przedstawiono procedurę wyboru wyrobiska docelowego maksymalizującego łączne zyski BM może z powodzeniem posłużyć do optymalnego, przestrzennego wyznaczania zasobów przemysłowych węgla brunatnego w oparciu o kryteria ekonomiczne związane zarówno z kopalnią i elektrownią jak i rynkiem energii elektrycznej, na którym ona działa.

